多不饱和脂肪酸对种公鸡繁殖性能的影响及其作用机理

陈　晨　朱冠宇　盛熙晖　王相国　倪和民　郭　勇　齐晓龙*

（北京农学院动物科学技术学院，北京 102206）

摘　要：多不饱和脂肪酸（PUFA）是一种具有重要生物功能的脂类物质，除可提供能量外，还对动物的免疫功能、机体代谢和繁殖性能等具有调节作用。本文简述了PUFA对种公鸡繁殖性能的影响及其作用机理，为合理利用家禽饲粮中油脂资源和提高家禽良种产业经济效益提供理论参考。

关键词：多不饱和脂肪酸；种公鸡；繁殖性能；作用机理

中图分类号：S831

随着现代化和集约化高效养殖的迅猛发展，人工授精技术在畜牧生产中已得到普遍应用，对公畜禽繁殖性能的要求也越来越高。规模化种鸡生产中，种公鸡的精液品质直接影响母鸡的繁殖性能。目前，我国种公鸡繁殖性能的降低已造成种蛋合格率和受精率低、受精种蛋孵化率低、死淘率高和雏鸡质量差等现状，影响了家禽良种产业的发展。

长期以来，在家禽良种产业领域，人们普遍关注育种、环境和疫病等。在种鸡饲养实践中，种母鸡处于主导地位，实施的各项技术大多围绕母鸡生产潜能的发掘，种公鸡则处于从属地位。然而从遗传学角度而言，种公鸡的遗传基础、体况与繁殖性能对于雏鸡质量乃至生产性能均至关重要。随着研究的深入，学者们逐渐意识到种公鸡的营养调控对充分发挥鸡良种遗传潜力、提高生产性能具有不可忽视的作用。

作为一种具有重要生物功能的脂类物质——多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty

收稿日期：2016-09-23

基金项目：2016 年度现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队岗位专家（5075237031/001）；国家自然科学基金项目（31501972）；2015 年度北京农学院青年科学基金项目（2037516005）

作者简介：陈　晨（1993—），女，湖南澧县人，硕士研究生，研究方向为种禽繁殖性能的营养调控。E-mail: chenchen5340@sina.com

*通信作者：齐晓龙，讲师，E-mail: buaqxl@126.com

acids，PUFA），其对动物生长、发育以及繁殖性能的正常发挥有着重要的影响，已成为近年来国内外研究的热点。PUFA具有增强免疫功能、改变精子膜磷脂组成和影响动物繁殖性能等生物功能。常见的n-3 PUFA包括α-亚麻酸（α-linolenic acid，α-ALA）、二十碳五烯酸（eieosapentaenoic acid，EPA）、二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid，DHA）等。目前有关PUFA对动物繁殖性能影响的研究多集中在雄性动物的精液品质方面，如n-3 PUFA可提高精子浓度、改善精子品质等。本文简述了PUFA对种公鸡繁殖性能的影响，并从不同角度阐述了PUFA对动物繁殖性能的影响及其作用机理，为推动PUFA在种公鸡营养调控中的应用提供理论参考。

1 饲粮添加PUFA对种公鸡繁殖性能的影响

PUFA作为一种具有重要生物功能的脂类物质，在家禽上的研究主要集中在免疫功能、抗氧化作用、生产性能、蛋品质和肌肉品质等方面，研究表明PUFA对种禽的繁殖性能也具有良好的改善作用。在实际生产中，由于人工授精技术的普及，养殖场对种公鸡精液品质的要求更加严格。但种公鸡的精液浓度会随年龄的增加而下降，其原因主要与精子和精浆中脂质的含量增加相关。精子和精浆中的磷脂主要包括磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺，前者的含量随年龄的增加而增加，而后者的含随年龄的增加呈下降趋势。磷脂酰乙醇胺含量的降低主要是由n-6 PUFA含量的下降所导致。研究表明，富含二十二碳五烯酸（docosapentenoic acid，DPA）或DHA的精液在人工授精后能显著增加公鸡的繁殖性能，这一现象在青年鸡中表现更为突出。因此，饲粮中添加PUFA可延长种公鸡的精液周期，从而提高种公鸡利用率，降低生产成本[1]。

早期报道显示，当家禽饲粮中不含亚油酸（linoleic acid，LA）和亚麻酸（linolenic acid，ALA）时，家禽会出现相应的缺乏症，雏鸡生长不良，成年鸡产蛋量少、孵化率低；当添加LA和ALA时症状消失。随着研究的不断深入，学者们发现不同来源及不同比例的PUFA亦会影响种公鸡的繁殖性能。饲粮中添加不同来源的脂肪酸，可增加公鸡精子磷脂中n-3 PUFA的比例，显著改善精液品质[2]。这可能是由于饲粮中n-3 PUFA和n-6 PUFA的比例改变，从而改变了精子细胞膜脂质和磷脂的组成[3]。当n-3/n-6 PUFA为1:（6～9）时，公鸡精子中饱和脂肪酸含量最少，且能达到最大繁殖性能[4]。而当n-3/n-6 PUFA为1.00:4.15时，PUFA对公鸡睾丸指数无显著影响，但生精细胞层显著增加，血液性激素水平显著提高，如促性腺激素释

放激素（GnRH）、促卵泡素（FSH）、促黄体素（LH）和睾酮（T）[5]。

PUFA为不饱和脂肪酸，易发生氧化，与维生素E结合可在一定程度上保证饲粮中PUFA的含量。研究表明，饲粮中添加鱼油与维生素E，可增加公鸡精子中DPA和DHA含量，但总PUFA含量未发生改变，精子活力升高；富含n-3 PUFA的动物饲粮中添加300 mg/kg维生素E能使精子质量达到最佳状态[6-7]；而在饲粮中添加鱼油与维生素E，火鸡精子中n-3 PUFA含量增加，且n-3/n-6 PUFA升高，但对繁殖性能无显著影响[8]。这些结果的差异可能与动物种类和添加剂量的不同有关，其具体原因有待进一步研究探讨。

2 PUFA影响繁殖性能的作用机理

2.1 PUFA与精液品质

PUFA通过改变雄性动物的精液品质影响其繁殖性能。在猪、牛、羊、鸡、鸭等动物的精子中存在大量长链PUFA，尤其是家禽精液中含量更为丰富，其花生四烯酸（arachidonic acid，AA）和二十二碳四烯酸（docosatetraenoic acid）的含量分别为5%～9%和15%～21%。家禽体内不能合成n-3 PUFA或n-6 PUFA，需通过饲粮供给，若改变饲粮中PUFA的种类和数量，可引起精子中PUFA组成的变化[4,6,9]。饲粮中添加不同比例PUFA可影响动物的精液品质和性欲，显著增加精子密度与精子活力，同时增加每次射精量与精子总数，延长射精时间，对睾丸发育和精子形态的完整性也有较好的作用[10-12]。PUFA影响精液品质的作用机理主要有：1）PUFA能合成前列腺素。精液前列腺素中主要有4种因子与生殖关系密切，即前列腺素E(PGE)、前列腺素F（PGF）、19-羟基-前列腺素E(19-OH-PGE)与19-羟基-前列腺素F(19-OH-PGF)，其中PGE和19-OH-PGE与精子活力有关，占精液中前列腺素总量的90%[13]。而二十碳PUFA是合成多种生物活性物质的前体物质，包括前列腺素、凝血素和白细胞三烯，其中EPA在体内多种酶的调节下最终合成前列腺素3（3-series PGs）。研究证实添加外源性前列腺素$F_{2\alpha}$可影响公猪的性行为，延长射精时间[14]。2）饲粮中PUFA在动物机体内参与磷脂的合成、代谢并转化为机体必需的生命活性因子DHA，有效维持和改善精子活力及雄性动物的生殖能力。DHA的含量与超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）和过氧化氢酶（catalase，CAT）的活性呈正相关关系，过氧化物酶类可催化过氧化氢和胺类化合物，具有消除过氧化氢和胺类化合物毒性的双重作用，保持精子结构和功能的完整性。研究表明，添加3%富含n-3 PUFA的鱼油，可使猪精液中精子浓度及精子中DHA含量显著升高[9]，且有

利于鹌鹑精子的低温保存和冷冻贮存[15]。在哺乳动物牛和绵羊的精液冷冻稀释液中添加n-3 PUFA，同时添加1%维生素E，可降低精子的损伤，显著提高精子存活率和顶体完整性。此外，研究发现多数DHA位于精子尾部，精子尾部DHA含量越高越有利于鞭毛的运动，提高精子的运动能力[16]。3）类二十烷酸浓度的增加可能改善精液品质，PUFA与其衍生的类二十烷酸在下丘脑–垂体轴和精子生成激素的调控下相互作用[17-18]。研究表明，饲粮中同时添加大豆油和亚麻籽油可通过促进大鼠T的分泌来提高其精液品质[10]。然而也有研究表明，不同品种公猪饲粮中添加鱼油对射精量和精子密度均无显著影响[19]；添加10%AA（属n-6 PUFA）显著降低小鼠精子浓度以及精子活度，高n-6/n-3 PUFA对精子数量和脂类有显著损伤作用[20]。以上研究结果表明，饲粮中PUFA的添加量、种类以及添加比例的不同对雄性动物精液品质的影响不同，其原因有待于进一步研究。

2.2　PUFA与精子细胞膜

PUFA是细胞膜磷脂的重要组成成分，与膜脂质有较高的亲和性，与细胞膜的流动性与变形性息息相关，并参与脂质的形成，其缺乏会严重影响精子的受精能力。精子细胞膜含有大量PUFA，n-3 PUFA与n-6 PUFA与精子生育力密切相关，动物须靠外界摄取的PUFA来维持精子结构的完整性。二十碳以上的PUFA中双键多、键长，能够改变细胞膜的物理特性，如膜流动性和筏结构[21]，影响精子细胞膜的结构，参与细胞膜中蛋白质介导的细胞应答，其机制主要是通过改变细胞膜受体的表达、活性以及亲和力或改变细胞内信号转导机制影响细胞信号通路，从而改变转录因子活性以及基因表达[22-23]；同时，PUFA不饱和程度高，导致细胞膜脂质容易发生过氧化，使细胞膜受体、酶类以及离子通道发生改变，从而引起细胞功能紊乱，同时也会影响细胞膜的流动性。饲粮中的脂肪来源可改变细胞膜中的磷脂数量、脂肪酸含量以及n-3/n-6 PUFA，改变其中任一因素，均可影响精子细胞膜的组成、流动性以及对氧化反应的敏感性，从而对精子的受精能力产生影响[24]。研究表明，在公猪饲粮中添加鱼油和抗氧化剂的混合物，饲粮中PUFA能逐渐融入精子细胞膜中，显著改变精子质膜的伸缩性，从而影响鞭毛的运动[25]；在不同品种公猪饲粮中添加鱼油，对精子的形态和质膜亦有显著作用[19]。可见，PUFA可通过改变精子细胞膜组成与流动性影响精液品质，进而影响其受精能力。

2.3　PUFA与精子氧化损伤

自由基是维持正常生理状态不可缺少的因素，其不断产生与消除使机体处于一个平衡状态。在机体新陈代谢过程中，活性氧自由基（ROS）和脂质的过氧化反应维持着机体的稳态，机体平衡一旦被打破，则会引起代谢机能紊乱，加剧自由基链式反应，甚至对机体产生严重的氧化损伤[26]。

关于PUFA与精子氧化损伤的研究相对较少。精子细胞膜含PUFA较多，易受ROS攻击，引发脂质过氧化级联反应，损伤精子的细胞膜，降低精子活力，破坏精子的正常形态与结构，并损伤精子的穿透力，从而影响精子品质[27]。因此，提高雄性动物的抗氧化能力，保证机体特别是睾丸组织结构和功能的完整性对其繁殖性能有重要意义[28]。

抗氧化酶作为重要的抗氧化物广泛分布在动物体内，可清除超氧阴离子和羟自由基等氧自由基，保护细胞的完整性[28]。抗氧化酶是精浆抗氧化防御系统的重要组成之一，其活性增加，可避免精子损伤，维持精子的正常生育力。细胞膜脂质的过氧化是致使精子质量下降的重要因素之一，成熟精子的细胞膜不饱和脂肪酸含量丰富，且精子胞质含有的抗氧化酶较少，容易被氧化，因此精浆中的抗氧化防御系统对精子的成熟起着关键作用[29]。饲粮添加适量 PUFA 可显著提高抗氧化酶活性，降低脂质过氧化产物含量，从而增强机体的抗氧化能力[28,30-31]。由此可见，饲粮添加适量 PUFA 可通过提高机体抗氧化酶的活性，减少精子氧化损伤，维持精子的成熟，从而提高动物的繁殖性能。

2.4　PUFA与生殖激素

关于PUFA对动物生殖激素调控的研究较少，且机制尚不明确。目前的报道主要集中在以下2个方面：1）PUFA参与前列腺素的合成，前列腺素是作用广泛、效应较多的内源性活性物质，可调节动物的生殖过程。PUFA是类二十烷酸的前体物质，在动物体内可形成AA和DHA，再经环加氧酶和脂加氧酶的催化最终合成不同类型的前列腺素[14]。2）通过合成类固醇激素影响动物的繁殖性能。肾上腺皮质激素、性腺激素等均属于类固醇激素，如T、雌二醇和孕酮等。类固醇激素不仅可促进动物生殖器官的生长、分化，且在维持动物的生育能力如促进精子发生、卵泡生长发育和发情行为等方面都发挥着重要作用[32]。PUFA可与甘油、胆固醇分别生成甘油三酯、胆固醇酯。由小肠黏膜吸收的胆固醇同甘油三酯、胆固醇酯形成乳糜微粒，后者再将甘油三酯和胆固醇酯从小肠运送到肾上腺或性腺中转化为多种类固醇激素[33]。

精子的产生是一个连续不断的细胞增生与分化的过程，依赖激素的调控。垂体分泌的FSH、LH和睾丸间质细胞（Leydig cells）分泌的T是精子发生的调节激素，并通过睾丸支持细胞和生精细胞之间的相互作用来介导产生[34]。其中FSH和LH刺激释放的T是主要的激素调节者。T是一种含19个碳原子的类固醇激素，是以胆固醇为原料在间质细胞内经一系列酶催化反应而合成的。胆固醇进入细胞后首先在类固醇合成快速调节蛋白（StAR）作用下由线粒体外膜转移到内膜，此过程为T合成的限速步骤[35]；而后在P450胆固醇侧链裂解酶（P450scc）催化下裂解成孕烯醇酮，再经过3β-羟基类固醇脱氢酶、17α/17,20-羟化酶和17β-羟基固醇脱氢酶的作用合成T，此过程中P450scc是T合成的限速酶[36]。研究表明，通过增强*StAR*的表达可促进小鼠间质细胞T的合成[37]，下调*StAR*的表达则可抑制T的合成[38]。同样，通过增强P450scc的活性可促进大鼠间质细胞T的生成[39]，而降低P450scc的活性则可减少T的产生[35]。可见，限速蛋白StAR和T合成关键酶P450scc在T合成过程中起着关键作用。

体内超过90%的T由睾丸间质细胞合成和分泌，T可促进睾丸的生长发育，并刺激精原细胞的增殖[40]，对促进精子发生、成熟、维持正常性欲和雄性第二性征发挥着重要作用[41-43]，缺乏T则直接导致精子发生障碍[44]。因此，T被认为是精子生成所必需的激素[41]。PUFA可促进动物精子的成熟[45]，而其缺乏可直接导致不育[46]。研究表明，饲粮中添加脂肪酸可改变大鼠T的分泌量[47-48]，添加PUFA可增加大鼠血浆中总T和游离T含量[49]，显著提高大鼠间质细胞T的分泌量[50]。此外，研究表明随饲粮中亚麻油（富含ALA）剂量的增加，雄性SD大鼠血清中T含量显著升高[13]；饲喂不同n-6/n-3 PUFA饲粮，公猪血清中T和前列腺素E_2含量均有所升高，且n-6/n-3 PUFA为1:1时含量最高[51]。可见，PUFA对雄性动物T的分泌有重要影响，其作用机制有待于进一步研究。

3 小 结

获得高品质种公鸡精液可提高规模化鸡场的经济效益，降低生产成本。上述研究表明，饲粮中添加PUFA可延长种公鸡的精液周期，提高精子细胞膜脂质和磷脂中PUFA含量，改善精液品质，最终提高繁殖性能。然而多数研究只关注精子的品质和脂肪酸组成，对精液密度、精子数量的增加以及精子的成熟等并无合理的解释和深入研究；同时，对于雄性动物，生殖激素尤其是T不仅影响到精子的发生、成熟和睾丸的发育，而且对维持第二性征、提高性欲等也发挥着极其重要的作用。PUFA可提高雄性动物T的分泌，但其具体作用机制尚不清楚，

仍有待于进一步研究。

参考文献：

[1] CEROLINI S,PIZZI F,GLIOZZI T,et al.Lipid manipulation of chicken semen by dietary means and its relation to fertility:a review[J].World’s Poultry Science Journal,2003,59(1):65–75.

[2] KELSO K A,CEROLINI S,SPEAKE B K,et al.Effects of dietary supplementation with alpha-linolenic acid on the phospholipid fatty acid composition and quality of spermatozoa in cockerel from 24 to 72 weeks of age[J].Reproduction:The Journal of the Society for Reproduction and Fertility,1997,110(1):53–59.

[3] BONGALHARDO D C,LEESON S,BUHR M M.Dietary lipids differentially affect membranes from different areas of rooster sperm[J].Poultry Science,2009,88(5):1060–1069.

[4] ZANINI S F,TORRES C A A,BRAGAGNOLO N,et al.Evaluation of the ratio of ω6:ω3 fatty acids and vitamin E levels in the diet on the reproductive performance of cockerels[J].Archives of Animal Nutrition,2003,57(6):429–442.

[5] FENG Y,DING Y,LIU J,et al.Effects of dietary omega-3/omega-6 fatty acid ratios on reproduction in the young breeder rooster[J].BMC Veterinary Research,2015,11(1):73.

[6] CEROLINI S,SURAI P F,SPEAKE B K,et al.Dietary fish and evening primrose oil with vitamin E effects on semen variables in cockerels[J].British Poultry Science,2005,46(2):214–222.

[7] CEROLINI S,ZANIBONI L,MALDJIAN A,et al.Effect of docosahexaenoic acid and α-tocopherol enrichment in chicken sperm on semen quality,sperm lipid composition and susceptibility to peroxidation[J].Theriogenology,2006,66(4):877–886.

[8] ZANIBONI L,RIZZI R,CEROLINI S.Combined effect of DHA and α-tocopherol enrichment on sperm quality and fertility in the turkey[J].Theriogenology,2006,65(9):1813–1827.

[9] MALDJIAN A,PIZZI F,GLIOZZI T,et al.Changes in sperm quality and lipid composition during cryopreservation of boar semen[J].Theriogenology,2005,63(2):411–421.

[10] 刘庆,刘俊,魏宏逵,等.饲粮n-6/n-3PUFA比和维生素E改善配种期公猪精液品质的研究[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第七届中国饲料营养学术研讨会.郑州:中国畜牧兽医学会,2014.

[11] YAN L,BAI X L,FANG Z F,et al.Effect of different dietary omega-3/omega-6 fatty acid ratios on reproduction in male rats[J].Lipids in Health and Disease,2013,12(1):33.

[12] ESTIENNE M J,HARPER A F,CRAWFORD R J.Dietary supplementation with a source of omega-3 fatty acids increases sperm number and the duration of ejaculation in boars[J].Theriogenology,2008,70(1):70–76.

[13] 白小龙.饲粮添加不同类型油脂对种公猪及雄性SD大鼠繁殖性能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2011.

[14] WATHES D C,ABAYASEKARA D R E,AITKEN R J.Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction[J].Biology of Reproduction,2007,77(2):190–201.

[15] HAZIM J,AL-MASHADANI H A,AL-HAYANI W K,et al.Effect of n-3 and n-6 fatty acid supplemented diets on semen quality in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*)[J].International Journal of Poultry Science,2010,9(7):656–663.

[16] CONNOR W E,LIN D S,WOLF D P,et al.Uneven distribution of desmosterol and docosahexaenoic acid in the heads and tails of monkey sperm[J].Journal of Lipid Research,1998,39(7):1404–1411.

[17] 杨健,刘德全,王丽芳,等.稀释液中添加多不饱和脂肪酸(PUFA)对绵羊精液冷冻效果的影响[J].畜牧与饲料科学,2010,31(11/12):6–7.

[18] KHOSHVAGHT A,TOWHIDI A,ZARE-SHAHNEH A,et al.Dietary n-3 PUFAs improve fresh and post-thaw semen quality in Holstein bulls via alteration of sperm fatty acid composition[J].Theriogenology,2016,85(5):807–812.

[19] YESTE M,BARRERA X,COLL D,et al.The effects on boar sperm quality of dietary supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids differ among porcine breeds[J].Theriogenology,2011,76(1):184–196.

[20] 刘珊珊,李晓曦,林艳,等.膳食中高n-6/n-3多不饱和脂肪酸比值对小鼠精子浓度及活度的影响[J].医学研究生学报,2014,27(7):676–678.

[21] CALDER P C,YAQOOB P.Lipid rafts—composition,characterization,and controversies[J].The Journal of Nutrition,2007,137(3):545–547.

[22] MILES E A,CALDER P C.Modulation of immune function by dietary fatty acids[J].Proceeding of the Nutrition Society,1998,57(2):277–292.

[23] CALDER P C,YAQOOB P.Understanding omega-3 polyunsaturated fatty acids[J].Postgraduate Medicine,2009,121(6):148–157.

[24] BLESBOIS E,LESSIRE M,GRASSEAU I,et al.Effect of dietary fat on the fatty acid composition and fertilizing ability of fowl semen[J].Biology of Reproduction,1997,56(5):1216–1220.

[25] STRZEZEK J,FRASER L,KUKLIŃSKA M,et al.Effects of dietary supplementation with polyunsaturated fatty acids and antioxidants on biochemical characteristics of boar semen[J].Reproductive Biology,2004,4(3):271–287.

[26] DJORDJEVIĆ V B.Free radicals in cell biology[J].International Review of Cytology,2004,237:57–89.

[27] 赵豫刚,郑新民,杨志伟.氧自由基对精子功能的影响[J].医学新知杂志,2002,12(4):211–213.

[28] 封云,于尚誉,王晓霞,等.日粮添加不同植物油对育成期蛋用种公鸡抗氧化功能的影响[J].中国农学通报,2014,30(35):48–53.

[29] 陈康.抗氧化基因和抗氧化酶表达对精液质量的影响[D].硕士学位论文.广州:广州医科大学,2013.

[30] 来伟旗,张岭,刘臻,等.多不饱和脂肪酸小鼠抗氧化功能的实验研究[J].职业与健康,2011,27(24):2875–2876.

[31] 齐晓龙.共轭亚油酸对产蛋鸡抗氧化机能的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[32] 覃健萍,曹永长,毕英佐.类固醇激素免疫在调控畜禽繁殖和生长中的应用[J].中国家禽,2004,8(1):206–208.

[33] 陆燕,黄攀,王恬,等.日粮多不饱和脂肪酸对家畜繁殖性能的影响[J].中国畜牧兽医,2009,36(9):23–26.

[34] WANG C,SWERDLOFF R S.Male contraception[J].Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology,2002,16(2):193–203.

[35] MILLER W L,STRAUSS J F Ⅲ.Molecular pathology and mechanism of action of the

steroidogenic acute regulatory protein,StAR[J].The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology,1999,69(1/2/3/4/5/6):131–141.

[36] SHIRAKAWA H,OHSAKI Y,MINEGISHI Y,et al.Vitamin K deficiency reduces testosterone production in the testis through down-regulation of the Cyp11a a cholesterol side chain cleavage enzyme in rats[J].Biochimica et Biophysica Acta:General Subjects,2006,1760(10):1482–1488.

[37] MANNA P R,CHANDRALA S P,JO Y,et al.cAMP-independent signaling regulates steroidogenesis in mouse Leydig cells in the absence of StAR phosphorylation[J].Journal of Molecular Endocrinology,2006,37(1):81–95.

[38] WANG H,WANG Q,ZHAO X F,et al.Cypermethrin exposure during puberty disrupts testosterone synthesis via downregulating StAR in mouse testes[J].Archives of Toxicology,2010,84(1):53–61.

[39] LIN H,WANG S W,WANG R Y,et al.Stimulatory effect of lactate on testosterone production by rat Leydig cells[J].Journal of Cellular Biochemistry,2001,83(1):147–154.

[40] ARSLAN M,WEINBAUER G F,SCHLATT S,et al.FSH and testosterone,alone or in combination,initiate testicular growth and increase the number of spermatogonia and Sertoli cells in a juvenile non-human primate (*Macaca mulatta*)[J].Journal of Endocrinology,1993,136(2):235–243.

[41] MCLACHLAN R I,O'DONNELL L,MEACHEM S J,et al.Identification of specific sites of hormonal regulation in spermatogenesis in rats,monkeys,and man[J].Recent Progress in Hormone Research,2002,57:149–179.

[42] PARKER K L,SCHEDL A,SCHIMMER B P.Gene interactions in gonadal development[J].Annual Review of Physiology,1999,61(1):417–433.

[43] PAYNE A H,YOUNGBLOOD G L.Regulation of expression of steroidogenic enzymes in Leydig cells[J].Biology of Reproduction,1995,52(2):217–225.

[44] DOHLE G R,SMIT M,WEBER R F A.Androgens and male fertility[J].World Journal of Urology,2003,21(5):341–345.

[45] LANGLAIS J,ROBERTS K D.A molecular membrane model of sperm capacitation and the acrosome reaction of mammalian spermatozoa[J].Gamete Research,1985,12(2):183–224.

[46] STOFFEL W,HOLZ B,JENKE B,et al.Δ6-desaturase (FADS2) deficiency unveils the role of ω-3 and ω-6 polyunsaturated fatty acids[J].The EMBO Journal,2008,27(17):2281–2292.

[47] GROMADZKA-OSTROWSKA J,PRZEPIÓRKA M,ROMANOWICZ K.Influence of dietary fatty acids composition,level of dietary fat and feeding period on some parameters of androgen metabolism in male rats[J].Reproductive Biology,2002,2(3):277–293.

[48] HURTADO DE CATALFO G E,DE ALANIZ M J T,MARRA C A.Dietary lipids modify redox homeostasis and steroidogenic status in rat testis[J].Nutrition,2008,24(7/8):717–726.

[49] CLINTON S K,MULLOY A L,LI S P,et al.Dietary fat and protein intake differ in modulation of prostate tumor growth,prolactin secretion and metabolism,and prostate gland prolactin binding capacity in rats[J].The Journal of Nutrition,1997,127(2):225–237.

[50] ROMANELLI F,VALENCA M,CONTE D,et al.Arachidonic acid and its metabolites effects on testosterone production by rat Leydig cells[J].Journal of Endocrinological Investigation,1995,18(3):186–193.

[51] 程栩.饲粮添加不同比例的多不饱和脂肪酸对后备公猪繁殖性能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2015.

Effects of Polyunsaturated Fatty Acid on Reproductive Performance of Roosters and Its Mechanism

CHEN Chen　ZHU Guanyu　SHENG Xihui　WANG Xiangguo　NI Hemin　GUO Yong　QI Xiaolong*

(*College of Animal Science and Technology*, *Beijing University of Agricultural*, *Beijing* 102206, *China*)

Abstract: Polyunsaturated fatty acid (PUFA) is a kind of lipid with important biological functions. Besides it can provide energy, it has regulatory effects on immune function, metabolism, reproductive performance and so on. This paper briefly reviewed the effects and mechanisms of PUFA on reproductive performance of roosters, in order to provide a theoretical reference for rational utilization of oil resources in poultry diets and improving economic benefits of poultry

*Corresponding author, lecturer, E-mail: buaqxl@126.com　　　　（责任编辑　李慧英）

breeding industry.

Key words: polyunsaturated fatty acid; rooster; reproductive performance; mechanism